

# МЕДИКО–БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОХРАНЕНИЮ ЗДОРОВЬЯ И ПЕРВИЧНОЙ ПРОФИЛАКТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ

УДК 531/534: [57+61]; 616.713:616.12–089

## АДАПТАЦИЯ ПРОГРАММНО–АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА «БИОСПАС» БИОМЕХАНИЧЕСКОГО СКРИНИНГА СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО–СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

**М.В. Борисенко<sup>1</sup>, Ю.И. Тимофеев<sup>2</sup>, Ю.Г. Кузьминский<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет транспорта

<sup>2</sup>Гомельский государственный медицинский университет

<sup>3</sup>Институт механики металлополимерных систем НАН Беларуси им. В.А. Белого

*В статье изложены результаты адаптации методики контроля тренировочного процесса с помощью программно–аппаратного комплекса биомеханического моделирования сердечно–сосудистой системы (ССС) на основе расширенного анализа осциллометрических данных для различных состояний человека.*

**Ключевые слова:** биомеханика, моделирование, программы, гемодинамика, тренировочный процесс.

## THE HARDWARE AND SOFTWARE «BIOSPAS» COMPLEX ADAPTATION FOR THE BIOMECHANICAL SCREENING OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM FUNCTION

**M.V. Borisenko<sup>1</sup>, Yu.I. Timofeev<sup>2</sup>, Yu.G. Kuzminsky<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State University of Transport

<sup>2</sup>Gomel State Medical University

<sup>3</sup>Institute of Mechanics of Metal Polymer Systems of the NAS of Belarus. V.A. White

*The article describes the results of adapting the method of monitoring the training process using the hardware–software complex of biomechanical modeling of the cardiovascular system (CVS) based on an extended analysis of oscillometric data for various human states.*

**Key words:** biomechanics, modeling, programs, hemodynamics, training process.

**Введение.** Использование компьютерных технологий расширяет информационную базу контроля качества и эффективности тренировок.

Целью исследований в рамках государственной программы научных исследований «Конвергенция» Академии наук Беларуси явилась разработка программно–аппаратных комплексов на основе тонометрии для контроля состояния гемодинамики различной степени сложности по средствам сбора физиологических данных и предоставляемой информации. Задачи исследования – разработка модели гемодинамики, создание комплексов для сбора данных, разработка необходимого программного обеспечения расчетов и статистической обработки данных, апробация созданных методик на различных контингентах спортсменов. В работе изложены результаты исследования и разработки методологии и программно–аппаратной базы для проведения оперативной диагностики функционального состояния ССС основанной на комплексном использовании анализа данных артериальной осциллометрии и компьютерного моделирования.

**Реализация.** Новая методика осциллометрии основана на анализе пульсовой волны и моделировании формоизменения плечевой артерии при действии окклюзионной манжеты. Программно–аппаратный комплекс «БИОСПАС» осуществляет осциллометрическую

обработку данных опроса датчика давления полуавтоматического тонометра «LD1» с помощью интерфейсной тензостанции «TS32» [1–7]. Результат включает параметры сердца (28 показателей), сосудов (21 показатель), реологии крови (6), функционального состояния (14) и variability сердечного ритма (12). Представлены: диаграммы отклонения от норм значений результирующих параметров, интегральная десятибалльная оценка состояния ССС. Ключевым диагностическим инструментом является сопоставление портрета пульсовой волны с альбомом из 24 типовых портретов, характерных для нормальных и патологических состояний ССС, что позволяет автоматизировать сравнение рассматриваемого случая с типовыми формами путем масштабирования и вычисления интегрального отклонения портретов.

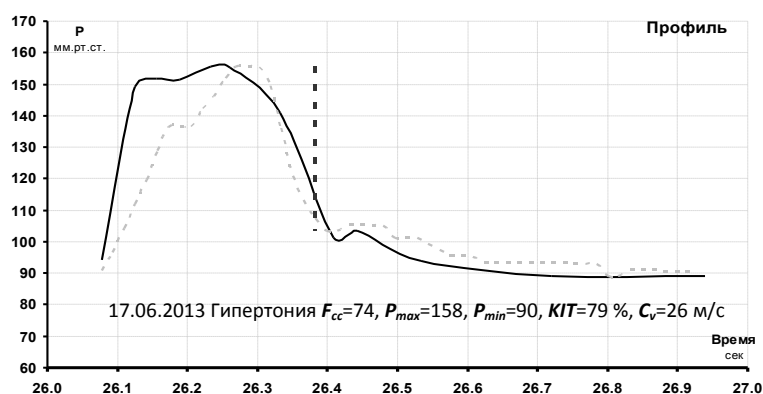
В качестве примера (таблица 1) приведены некоторые результаты анализа формы пульсовой волны, проведенного с использованием комплекса «БИОСПАС» группы студентов (24 человека, юноши и девушки 18–20 лет) с особенностями функционирования ССС, занимавшихся в группах общей физической подготовки [9]. Процедуры мониторинга включали функциональные пробы (нагрузочные тесты).

Таблица 1 – Результаты анализа формы пульсовой волны студентов с особенностями гемодинамики

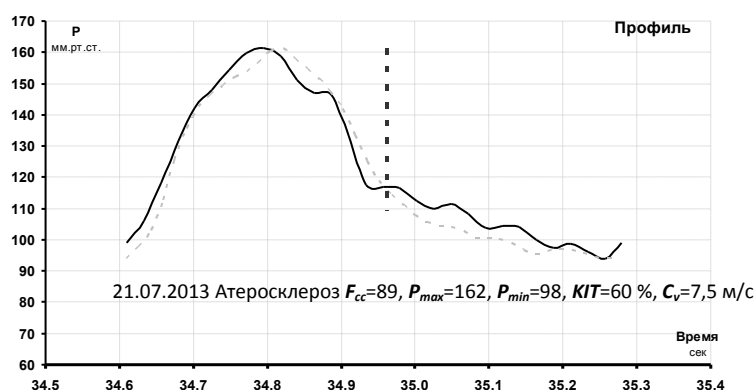
	Покой	После нагрузки	Восстановление
В–в Н.П.	<i>HF</i>	<i>ASC</i>	<i>NORMj</i>
Б–й С.М.	<i>NORMj</i>	<i>HF</i>	<i>NORMj</i>
В–а А.Н.	<i>HF</i>	<i>DP</i>	<i>NORMj</i>
Г–о В.Н.	<i>HF</i>	<i>NORMj</i>	<i>HF</i>
Д–н В.И.	<i>NORMj</i>	<i>HF</i>	<i>NORMj</i>
К–в С.В.	<i>HF</i>	<i>NORMj</i>	<i>HF</i>
К–м С.О.	<i>NORMj</i>	<i>HF</i>	<i>NORMj</i>
М–а О.М.	<i>HF</i>	<i>NORMj</i>	<i>NORMe</i>

Примечание: *NORMj* – нормотония юношеская, *ASC* – атеросклероз, *HF* – сердечная недостаточность, *DP* – двойной пульс.

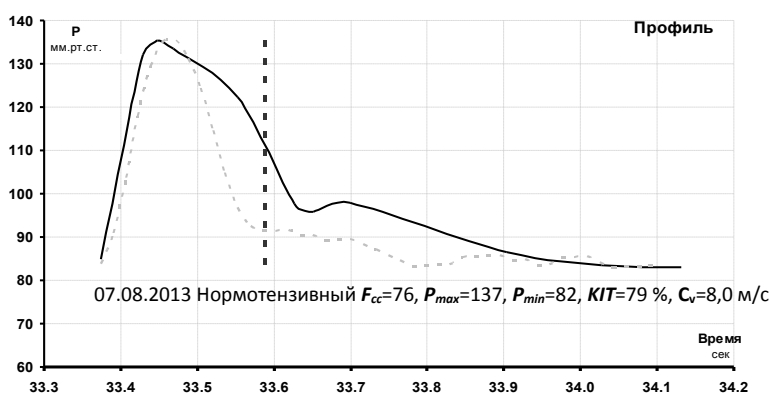
На рис. 1 приведены выборочные данные ПАК «БИОСПАС» о гемодинамическом состоянии пациента с диагнозом «артериальная гипертензия» в возрасте 65 лет на различных этапах амбулаторного лечения в ГУЗ «Гомельской областной клинической поликлинике» под контролем врача–кардиолога.



а



б



в

**Рисунок 1 – Гемодинамические профили пациента (сплошные линии) в сравнении с профилями, типичными для гипертонии (а), атеросклероза (б) и возрастного нормотензивного состояния (в), показанными пунктирными линиями**

**Адаптация.** База данных результатов расчетов с применением ПАК «БИОСПАС» включает около 500 записей. Для верификации расчетов использовались следующие данные: УЗ «Гомельского областного клинического кардиоцентра» (200 пациентов без установленного диагноза, 50 человек с диагнозом «артериальная гипертензия» и 25 пациентов с диагнозом «ишемическая болезнь сердца или ИБС»), 35 сотрудников и студентов УО «Гомельского государственного медицинского университета». Отклонения измеренных давлений от расчетных не превышали 5 мм рт. ст.

Статистический анализ проведен с использованием стандартного статистического пакета прикладного программного обеспечения IBM SPSS® v.23.0. Для сравнения двух выборок использовался непараметрический U–критерий Манна–Уитни. H–критерий Краскела–Уоллиса использовался при сравнении трех групп. Если последний критерий позволял выявить различия между группами, то дополнительно использовали U–критерий Манна–Уитни с поправкой Бонферрони. Для построения и оценки моделей были применены методы многофакторного регрессионного анализа и логистической регрессии. Достоверность полученных результатов оценивали при  $p < 0.05$ .

Верификация всех параметров «БИОСПАС» требует значительных организационных усилий по получению лабораторных данных. В вышеуказанных группах у обследуемых имелась возможность сопоставления расчетных и лабораторных данных по содержанию гемоглобина. В таблице 2 приведены основные данные расчетов для группы с фиксированным диагнозом.

Таблица 2 – Результаты расчета данных, полученных для группы с диагнозом ИБС

Исходные параметры					Результирующие параметры							Абсолютное и относительное отклонение лабораторного и расчетного значений $Hb$	
Имя	Пол	Вес	Возраст	$Hb$	$F_{cc}$	$P_{max}$	$P_{min}$	$V_{sys}$	$\eta$	$C_v$	$Hb$		
ГОККЦ ИБС23		80	87	138	77	130	80	0.090	4.5	975	121	17	12.1%
ГОККЦ ИБС13		75	74	139	100	160	100	0.083	6.9	966	149	10	7.0%
ГОККЦ ИБС16		90	55	139	89	190	100	0.109	7.9	855	151	12	8.4%
ГОККЦ ИБС1	ж	80	62	140	79	160	80	0.094	6.5	992	140	0	0.0%
ГОККЦ ИБС6	ж	78	79	140	76	140	80	0.089	6.2	829	143	3	2.0%
ГОККЦ ИБС10	ж	77	65	142	75	130	80	0.081	6.2	851	149	7	4.8%
ГОККЦ ИБС12	ж	80	80	142	100	170	100	0.122	5.9	880	133	10	6.7%
ГОККЦ ИБС20		75	53	143	58	140	100	0.105	7.4	871	160	17	11.9%
ГОККЦ ИБС21	ж	90	72	143	85	190	120	0.124	8.5	955	160	17	11.9%
ГОККЦ ИБС22	ж	80	81	143	60	150	100	0.131	7.1	938	160	17	11.9%
ГОККЦ ИБС25	ж	90	72	143	70	190	120	0.132	9.5	835	164	21	14.5%
ГОККЦ ИБС19	ж	65	88	144	105	150	90	0.075	5.7	764	130	14	9.7%
ГОККЦ ИБС3		85	57	145	67	180	100	0.117	7.8	947	145	0	0.2%
ГОККЦ ИБС7		80	69	145	64	160	110	0.120	7.6	942	149	4	2.6%
ГОККЦ ИБС9		84	54	145	61	160	100	0.154	6.2	984	140	5	3.4%
ГОККЦ ИБС15		75	57	146	62	160	100	0.105	8.9	816	158	12	8.3%
ГОККЦ ИБС18		70	44	146	67	140	95	0.083	7.8	844	160	14	9.6%
ГОККЦ ИБС11		90	62	147	150	180	120	0.103	5.8	787	156	9	6.3%
ГОККЦ ИБС14		90	62	147	78	180	120	0.120	8.6	880	159	12	8.2%
ГОККЦ ИБС4	ж	77	49	151	58	120	90	0.088	7.1	739	151	0	0.2%
ГОККЦ ИБС5		75	73	151	82	140	80	0.087	5.9	993	149	2	1.5%
ГОККЦ ИБС17		75	73	151	103	140	80	0.083	4.9	829	138	14	8.9%
ГОККЦ ИБС8		85	80	154	83	160	100	0.125	6.0	979	149	5	3.4%
ГОККЦ ИБС2		85	60	157	66	170	100	0.111	8.7	890	157	0	0.1%
ГОККЦ ИБС24	ж	80	78	164	80	145	100	0.092	5.8	814	142	22	13.3%
Среднее	56%	80	67	<b>146</b>	<b>80</b>	<b>157</b>	<b>98</b>	<b>0.105</b>	<b>6.9</b>	<b>886</b>	<b>148</b>	<b>10</b>	<b>6.7%</b>

В таблице 3 приведены статистические данные групп обследуемых (без указания значений среднеквадратического отклонения), включая оценку отклонений по гемоглобину. На рисунке 2 представлены графики оценки групповых отклонений по гемоглобину.

Таблица 3 – Статистические данные групп обследуемых, включая оценку отклонений по групповым значениям лабораторного и расчетного содержания гемоглобина

Группа	К-во	Антропометрия			Тонометрия			Среднее отклонение	Доля отклонений (%)		
		Рост	Вес	Возраст	$F_{cc}$	$P_{max}$	$P_{min}$		$\Delta < 5 \%$	$\Delta < 10 \%$	$\Delta < 15 \%$
ГОККЦ Б/Д	200	168	72	38	73	126	81	6.7 %	38	38	24
ГОККЦ АГ	50	170	84	53	83	173	98	6.6 %	46	30	24
ГОККЦ ИБС	25	170	80	67	80	157	98	6.7 %	40	36	24
ГоГМУ	37	170	85	54	76	128	80	4.3 %	68	20	12

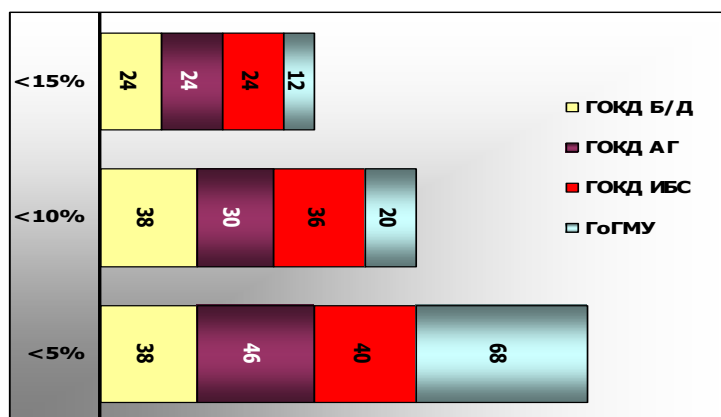


Рисунок 2 – Распределение относительных отклонений по группам

**Обсуждение результатов.** Представленные статистические данные позволяют сделать следующие заключения:

- Имеется отклонение от нормы артериального давления для групп с установленным диагнозом;
- Наименьшее относительное стандартное отклонение содержания гемоглобина – в группе УО «ГомГМУ»;
- Группа с диагнозом «ишемическая болезнь сердца» имеет увеличенный систолический выброс и общую вязкость крови;
- Группы УЗ «ГОККЦ» имеют схожее распределение по перцентилю стандартных отклонений содержания гемоглобина.
- Группа УО «ГомГМУ» имеет значительную долю состава с минимальным стандартным отклонением.

**Выводы.** Предложенная методика скрининга параметров состояния сердечно-сосудистой системы обладает рядом достоинств – информативность простота, экономичность и скорость. Разработка будет полезна как при массовых обследованиях населения, так и при проведении тренировок и занятий физической культурой.

Список литературы:

1. Шилько С.В., Саливончик С.П., Аничкин В.В., Кузьминский Ю.Г. Методика и компьютерная система диагностики состояния сердечно-сосудистой системы // Проблемы здоровья и экологии, ГоГМУ, – 2009. № 2, – С. 90–96
2. Шилько С.В., Тимофеев Ю.И., Аничкин В.В., Кузьминский Ю.Г. Диагностические возможности биомеханического анализа гемодинамики сердца и сосудов // Тезисы междунар. научн. конф. Россия–Беларусь–Сколково: единое инновац. пространство. – Минск, 19 сентября 2012. – С. 173–174.
3. Кузьминский Ю.Г., Шилько С.В. Метод диагностики сердечно-сосудистой системы на основе одномерной модели гемодинамики // Информатика. – 2014. – № 4. – С.19–33.
4. Шилько С.В., Кузьминский Ю.Г., Борисенко М.В. Биомеханическая диагностика гемодинамики сердечно-сосудистой системы // В кн. Инновационные аспекты современной медицины. Часть 2. Новосибирск, СибАК, 2014. С.11–41.
5. Борисенко М.В., Шилько С.В., Кузьминский Ю.Г. Применение программно-аппаратного комплекса «БИОСПАС» для анализа данных осциллометрии // Метрология и приборостроение – 2014. – № 4. – 24–32.
6. Шилько С.В., Кузьминский Ю.Г., Борисенко М.В. Аппаратная реализация и апробация неинвазивной диагностики гемодинамики на основе тензометрии и расширенной тонометрии // Приборы и методы измерения. – 2015. – № 1. – С. 39–46.
7. Свид. № 738 от 19.02.2015 о регистрации компьютерной программы БИОСПАС / Шилько С.В., Кузьминский Ю.Г., Борисенко М.В. // Заявка № С20140081 от 8.09.2014 // Реестр зарег. Комп. Программ / Нац. центр інтэл. Уласнасці. – 2015.
8. Kuzminsky Yu.G., Shil'ko S.V. Dataware of training process based on biomechanical analysis of hemodynamics // Акт. проблемы физич. воспитания, спорта и туризма: м-лы 5 Междунар. н/п конф., Мозырь, 9–11 окт. 2014 г. – С. 186–188.

9. Kuzminsky Yu.G., Shil'ko S.V. Diagnostics of hemodynamics of athletes based on oscillometry data biomechanical analysis // Междунар. н/п конф. «Проблемы физической культуры населения, проживающего в условиях неблагоприятных факторов окружающей среды», Гомель, 2015. – С. 3–5.